

ISBN: 978-99961-50-33-3

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

“ELABORACIÓN DE UNA BIORRESINA INTERCAMBIADORA DE CATIONES A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO O GUINEO PARA ELIMINAR METALES PESADOS EN AGUA CONTAMINADA”

DOCENTE INVESTIGADORA:
INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA BARRERA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2016

ISBN: 978-99961-50-33-3

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN

“ELABORACIÓN DE UNA BIORRESINA INTERCAMBIADORA DE CATIONES A PARTIR DE CÁSCARA DE PLÁTANO O GUINEO PARA ELIMINAR METALES PESADOS EN AGUA CONTAMINADA”

DOCENTE INVESTIGADORA:
INGA. ALMA VERÓNICA GARCÍA BARRERA

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ITCA-FEPADE SEDE CENTRAL

ENERO 2016

Rectora

Licda. Elsy Escolar SantoDomingo

Vicerrector Académico

Ing. Carlos Alberto Arriola Martínez

Vicerrectora Técnica Administrativa

Ing. Frineé Violeta Castillo

**Dirección de Investigación
y Proyección Social**

Ing. Mario Wilfredo Montes

Ing. David Emmanuel Agreda

Inga. Lorena Victoria Ramírez de Contreras

Sra. Edith Aracely Cardoza

Directora Escuela de Ingeniería Química

Lcda. Cecilia Elizabeth Reyes de Cabrales

547.843 4

G216e García Barrera, Alma Verónica, 1979-

SV Elaboración de una Biorresina intercambiadora de cationes a partir de cáscara de plátano o guineo para eliminar metales pesados en agua contaminada. / Alma Verónica García Barrera. -- 1ª ed. -- Santa Tecla, El Salv. : ITCA Editores, 2016.

47 p. : il. ; 28 cm.

ISBN: 978-99961-50-33-3

1. Resinas de intercambio iónico. 2. Descontaminación de metales pesados. 3. Residuos industriales. 4. Purificación de agua. I. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. II. Título.

Autora

Inga. Alma Verónica García Barrera

Tiraje: 12 ejemplares

Año 2016

Este documento técnico es una publicación de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE; tiene el propósito de difundir la Ciencia, la Tecnología y la Innovación CTI, entre la comunidad académica y el sector empresarial, como un aporte al desarrollo del país. El contenido de este Informe de Investigación no puede ser reproducido parcial o totalmente sin previa autorización escrita de la Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE. Para referirse al contenido debe citar el nombre del autor y el título del documento. El contenido de este Informe es responsabilidad de los autores.

Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE
Km 11.5 carretera a Santa Tecla, La Libertad, El Salvador, Centro América

Sitio Web: www.itca.edu.sv

TEL: (503)2132-7423

FAX: (503)2132-7599

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
2.1.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	6
2.2.	ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA.....	6
2.3.	JUSTIFICACIÓN	7
3.	OBJETIVOS	7
3.1.	OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	7
4.	HIPÓTESIS	8
5.	MARCO TEÓRICO	8
5.1.	EL AGUA	8
5.1.1.	<i>Propiedades físicas y químicas del agua</i>	8
5.1.2.	<i>Propiedades químicas del agua</i>	9
5.1.3.	<i>El agua como recurso natural</i>	9
5.1.4.	<i>Contaminantes del agua.</i>	10
5.1.5.	<i>Contaminación del agua en El Salvador</i>	12
5.1.6.	<i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua</i>	12
5.2.	METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS INDUSTRIALES	14
5.2.1.	<i>Toxicidad de metales pesados</i>	14
5.2.2.	<i>Vías de entrada y origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos</i>	15
5.3.	TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS.....	15
5.4.	EFFECTO DE LA CÁSCARA DE BANANO COMO ABSORBENTE DE METALES PESADOS	17
5.4.1.	<i>Composición química de la cáscara de banano</i>	17
5.4.2.	<i>Cultivo de plátano y banano en El Salvador</i>	18
5.5.	PROCESOS DE ADSORCIÓN	18
5.5.1.	<i>Intercambio iónico</i>	19
5.5.2.	<i>Intercambio iónico en lecho fijo</i>	19
5.6.	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RESINA	20
5.6.1.	<i>Fracción de lecho utilizado</i>	21
5.6.2.	<i>Longitud de lecho no utilizado</i>	21
6.	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	21
6.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
6.2.	FASE DE LABORATORIO.....	22
6.2.1.	<i>Recolección y tratamiento de las cáscaras</i>	22
6.2.2.	<i>Caracterización de la Biorresina</i>	22
6.2.3.	<i>Elaboración de muestra de agua</i>	23
6.2.4.	<i>Pruebas de filtración utilizando Biorresina a partir de cáscara de banano o de guineo</i>	23
6.2.5.	<i>Determinación de concentración de metales pesados por espectrofotometría visible</i>	26

7.	RESULTADOS.....	29
7.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA BIORRESINA.	29
7.2.	RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE BIORRESINA Y VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN UNA MUESTRA DE AGUA.	30
7.3.	RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DEL ORIGEN DE LA BIORRESINA, EN LA CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN UNA MUESTRA DE AGUA.....	31
7.4.	RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA MUESTRA DE AGUA, EN LA CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN UNA MUESTRA DE AGUA.....	33
7.5.	CANTIDAD DE BIORRESINA Y TIEMPO DE CONTACTO	34
7.6.	TIPO DE BIORRESINA.....	34
7.7.	VARIACIÓN DE TEMPERATURA.....	35
7.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	35
8.	CONCLUSIONES.....	37
9.	RECOMENDACIONES	37
10.	GLOSARIO	38
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
12.	ANEXOS.....	41
12.1.	ANEXO A. FOTOGRAFÍAS DE PARTE EXPERIMENTAL.....	41
12.2.	ANEXO B. CÁLCULOS.....	45

1. INTRODUCCIÓN

Para nadie es un secreto que en El Salvador la calidad del agua es un problema socio- ambiental, y que se ve afectada principalmente por desechos domésticos, *industriales, agroindustrias y agrícolas*. Uno de los antecedentes más trágicos de la historia ambiental reciente en nuestro país está descrito en el documento: “Caso Contaminación por Plomo Ocasionado por la Empresa Baterías de El Salvador. S.A. de C.V. y el Proceso de Lucha Impulsado por la Población Afectada” (CESTA, 2009), en donde dice: “El Salvador, es un país con altos índices de contaminación ambiental, las actividades de las empresas contribuyen grandemente a profundizar estos problemas, debido a la falta de responsabilidad en el manejo eficientemente de sus desechos. La contaminación por plomo que ocasionó Baterías de El Salvador, mejor conocida como Récord, en Sitio del Niño en San Juan Opico, La Libertad, ha sido uno de los ejemplos más recientes en el país y en el que se pone nuevamente a prueba a las instituciones del Estado para cumplir con su papel de ser garantes de la salud y del ambiente de los salvadoreños y salvadoreñas”

Por lo que se vuelve necesario que surjan iniciativas desde todos los sectores que conforman nuestra sociedad, de contribuir a prevenir la contaminación ambiental; es así, como nace el interés por la presente investigación; que tiene por objetivo general elaborar una resina intercambiadora de cationes utilizando cáscaras de guineo o plátano, que sirva para reducir metales pesados en agua contaminada.

Para efectos de cumplir ese objetivo, se describe en este documento cómo se ha realizado la transformación de las cáscaras de plátano y guineo, previamente secadas y tratadas, en una Biorresina intercambiadora de cationes. A ésta, se le realizaron pruebas fisicoquímicas; densidad seca aparente, pH y solubilidad en agua y solventes orgánicos. Así como también, para comprobar su efectividad, se elaboró una muestra de agua con cantidades conocidas de metales pesados (cromo hexavalente, hierro (III) y níquel (II)); la cual, se procedió a filtrarla utilizando la Biorresina como filtro, soportado en columnas cromatográficas. En el proceso de filtración se evaluó el efecto de la variación de las siguientes condiciones: tiempo de contacto, temperatura y tipo de Biorresina. La cuantificación de la concentración de los metales pesados de estudio en el agua filtrada se llevó a cabo por espectrofotometría visible.

Una vez finalizada la fase experimental, se llegó a la conclusión que: la Biorresina obtenida, utilizándola como filtro, es efectiva para disminuir la concentración de metales pesados en agua contaminada, teniendo especial afinidad química con el cromo hexavalente; especie que logró remover arriba del 90%. Y que las condiciones óptimas de operación de dicha Biorresina son: a 30°C y 90 minutos de tiempo de contacto. Además, las pruebas fisicoquímicas, permitieron tipificarla preliminarmente como una **resina de intercambio catiónico débil con un grado de entrecruzamiento bajo**.

Finalmente, se presentan las recomendaciones, de las cuales la más relevante es: profundizar esta investigación con el fin de replicar los beneficios de esta Biorresina a nivel industrial.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a la Real Academia de la Lengua Española, una resina es la sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de arder en contacto con el aire, obtenida naturalmente como producto que fluye de varias plantas. Sin embargo, hay que hacer notar que existen en la actualidad resinas naturales (origen orgánico: animal o vegetal) y resinas sintéticas (acrílicos, poliéster, epoxi).

Está comprobado que la cáscara de plátano (guineo) después de ser sometida a secado y pulverización, se comporta como una *resina fenólica* de carga negativa, característica que puede ser empleada en purificación de aguas contaminadas por metales (particularmente aguas residuales de industrias tales como curtiembres, textiles y electrodeposición); debido a que estos se encuentran como iones positivos (cationes) y se ven atraídos por la resina de signo contrario. Esto supone las siguientes ventajas: por una parte la cáscara de plátano es considerada un desecho, y esto es una forma de aprovecharla para crear una resina 100% biodegradable, y por otro, ayuda a reducir la contaminación en aguas de desecho industrial que contengan metales pesados.

2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DE LA TÉCNICA

La pionera en este tipo de investigación es una científica brasileña de la Universidad Federal de Sao Carlos, en Sao Paulo, Brasil, quien descubrió que, luego de ser sometida a cierto proceso, la cáscara de plátano puede limpiar agua contaminada con metales pesados hasta en un 65%. Milena Boniolo, doctora en ciencias químicas, notó que las moléculas de carga negativa del polvo de banana atraen a las moléculas de los metales pesados, que tienen carga positiva. Si bien retiene metales sólo en un 65%, el proceso puede repetirse tantas veces como sea necesario hasta que el agua esté completamente limpia. Actualmente la Dra. Boniolo se encuentra en búsqueda de financiamiento para replicar su descubrimiento a escala industrial.

Las estudiantes de Licenciatura en Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, Ana María Alvarado Chávez y Denise Elizabeth Gómez Díaz, en su trabajo de graduación “Estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de *Musa sapientum* (banano) utilizadas como filtro” realizaron un estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de *Musa sapientum* (banano) utilizadas como filtro, se elaboraron 4 filtros utilizando diferente cantidad de polvo de cáscara de *Musa sapientum* (banano) para comprobar que cantidad tenía mayor capacidad de retención de plomo en agua; se procedió a cuantificar la cantidad de plomo presente en ellos, utilizando un espectrofotómetro de Absorción Atómica AA-7000 Atomic Absorption a una longitud de onda de 283.3 nm, dicho análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador en los meses de mayo a junio del año 2013.

En este mismo sentido de investigación, se encontró que un grupo de investigadores brasileños desarrollaron un filtro para eliminar metales pesados tales como; plomo, cobre y cadmio, que utiliza como base cáscaras de banano.

En el estudio, el equipo desecó y molió las cáscaras de banano para luego verter el polvo resultante en frascos de agua que contenían distintas concentraciones conocidas; concluyendo que se pueden preparar a partir de las cáscaras.

Se determinó que estas cáscaras contienen gran cantidad de iones negativos que atrapan los cationes de metales pesados que pueden encontrarse en líquidos residuales de muchas empresas (por ej. las curtiembres arrojan mucho cromo al agua), teniendo rendimiento óptimo en soluciones ácidas. Debido a que es 100% orgánico y biodegradable, esto significa una forma mucho más segura de eliminar estos compuestos, y además, lo hacen con un nivel de rendimiento mayor a los métodos tradicionales.

La investigación fue desarrollada por científicos de la Universidad del Estado de São Paulo (Unesp) en la ciudad de Botucatu, encabezados por el ingeniero Gustavo Castro a lo largo del año 2012.

En cuanto a patentes, se consultaron las bases de datos y no se encontró resultado.

2.3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo a la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (MARN, 2013) Un estudio de la microcuenca del río Tomayate refleja que las aguas residuales domésticas representan el 68% de las descargas y los vertidos industriales el 32% restante. Además, el Índice de Calidad del Agua de nuestros ríos es muy pobre, ya que solo el 12% es de buena calidad. Cabe mencionar, que en cuanto a vertidos industriales (provenientes de carne, pescado, ingenios, beneficios de café, textiles y curtiembre), estos se caracterizan fisicoquímicamente, por su color, pH, materia en suspensión, DBO5 y presencia de metales. Es en este último parámetro que la obtención de una resina a partir de la cáscara de plátano, puede beneficiar mucho, debido a que se utiliza algo que es considerado como un desecho y pasa a ser una materia prima para la elaboración de una resina intercambiadora de cationes, que reduce o elimina la concentración de metales, tales como plomo, níquel, hierro y cromo, los cuales no son extraños de encontrar en aguas provenientes de la industria textil, curtiembre o de acabado de metales.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una resina intercambiadora de cationes utilizando cáscaras de plátano o guineo; dicha resina será utilizada para reducir o eliminar metales pesados en agua.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Obtener una resina intercambiadora de cationes a partir de cáscara de plátano o guineo, por medio de desecado y pulverizado de la misma.
2. Caracterizar la resina obtenida por medio de pruebas fisicoquímicas (pH, densidad, solubilidad en agua y otros solventes).

-
3. Comprobar la efectividad de la resina para reducir o eliminar metales pesados en aguas contaminadas, tales como níquel, hierro y cromo, haciendo uso de la técnica de espectrofotometría visible.
 4. Conocer la temperatura óptima de operación de la resina, por medio de pruebas en el Laboratorio de Química de ITCA-FEPADE.

4. HIPÓTESIS

¿Se podrá elaborar una resina, a partir de la cáscara de guineo, que pueda ser utilizada para reducir o eliminar metales pesados en aguas contaminadas?

5. MARCO TEÓRICO

5.1. EL AGUA

De acuerdo al Diccionario de La Lengua Española, el agua se puede definir como: “Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales”. Esta concepción no siempre fue así, de hecho los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico y no fue hasta que en 1781 el químico británico Henry Cavendish sintetizó agua detonando una mezcla de hidrógeno y aire. Dos años más tarde el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno. En 1804 se presentó un documento científico, cuyos autores eran el químico francés Joseph Louis Gay-Lussac y el naturalista alemán Alexander von Humboldt; en él, demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en la fórmula actual H_2O .

5.1.1. Propiedades físicas y químicas del agua

Las propiedades físicas del agua se presentan a continuación:

- **Estado físico:** sólido, líquido y gaseoso.
- **Color:** incolora.
- **Sabor:** insípida.
- **Olor:** inodora.
- **Densidad:** 1 g/ml a 4 °C.
- **Punto de congelación:** 0 °C.
- **Punto de ebullición:** 100 °C.

- **Presión crítica:** 217.5 atm.
- **Temperatura crítica:** 374 °C.

Debido a los enlaces por puentes de hidrogeno, el agua exhibe propiedades físicas características, los cuales son más evidentes en el agua sólida, en la red cristalina cada átomo de la molécula de agua está rodeado tetraédricamente por cuatro átomos de hidrógeno de otras tantas moléculas de agua y así sucesivamente es como se conforma su estructura.

Cuando el agua sólida (hielo) se funde, la estructura tetraédrica se destruye y la densidad del agua líquida es mayor que la del agua sólida debido a que sus moléculas quedan más cerca entre sí, pero sigue habiendo enlaces por puente de hidrógeno entre las moléculas del agua líquida.

Otra propiedad importante es su elevado calor específico y la gran cantidad de calor que pone en juego cuando cambia su estado, por lo cual, obra de excelente regulador de temperatura en la superficie de la Tierra y más en las regiones marinas.

5.1.2. Propiedades químicas del agua

Se detallan las más importantes:

1. **Reacciona con los óxidos ácidos;** los anhídridos u óxidos ácidos reaccionan con el agua y forman ácidos oxácidos.
2. **Reacciona con los óxidos básicos;** los óxidos de metales u óxidos básicos reaccionan con el agua para formar hidróxidos. Muchos óxidos no se disuelven en el agua, pero los óxidos de los metales activos se combinan con gran facilidad.
3. **Reacciona con los metales;** algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacen a temperatura elevada.
4. **Reacciona con los no metales;** sobre todo con los halógenos.
5. **Se une en las sales formando hidratos;** en algunos casos los hidratos pierden agua de cristalización cambiando de aspecto, y se dice que son eflorescentes, como le sucede al sulfato cúprico, que cuando está hidratado es de color azul, pero por pérdida de agua se transforma en sulfato cúprico anhidro de color blanco.

5.1.3. El agua como recurso natural

De acuerdo a Cirelli, A. & du Mortier (2005), el agua tiene su propia dinámica en el denominado ciclo hidrológico. Pero a medida que el hombre ha modificado este ciclo para poder utilizarla, se han generado diferentes ciclos antrópicos del agua que no sólo cambian su circulación, sino que también, modifican sus características, degradando su calidad. Es cierto que el agua dulce es un recurso renovable a través del ciclo hidrológico natural *pero es finito*. La contaminación generada por efectos antrópicos agudiza su escasez.

TABLA 1. RELACIONES ENTRE LOS CICLOS NATURAL Y ANTRÓPICO.
[CIRELLI, A. Y. P., & DU MORTIER, C., 2005]

CICLO NATURAL	CICLO ANTRÓPICO
Precipitación	Captación
Escorrentía/Infiltración	Transporte/Tratamiento
Aguas superficiales	Distribución
Aguas subterráneas	Uso
Agua de mar	Recolección de efluentes
Evaporación/Transpiración	Depuración
	Reutilización
	Vertido

Además, el crecimiento demográfico y la industrialización han generado que el consumo del agua haya aumentado seis veces en el último siglo; como consecuencia este recurso se ha degradado ocasionando daño en los ecosistemas de agua dulce, extinción de especies y enfermedades relacionadas con el agua, por mencionar algunas consecuencias.

5.1.4. Contaminantes del agua.

La Organización Mundial de la Salud define a la polución de las aguas dulces de la siguiente manera: "Debe considerarse que un agua está polucionada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural".

Es importante también detallar cuales son los factores que intervienen en la alteración de la calidad del agua, o sea los contaminantes; así como como los efectos que estos tienen en el medio ambiente, como se muestra a continuación:

TABLA N° 2 PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA.

CONTAMINANTES	MOTIVO DE SU IMPORTANCIA
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de barro y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son volcados en el ambiente acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas, por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo del oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de la vida acuática indeseable. Cuando son lanzados en cantidades excesivas en el suelo, pueden contaminar también el agua subterránea.
Contaminantes importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, pesticidas agrícolas, etc.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados a los residuos de actividades comerciales e industriales, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de agua, debiendo ser removidos si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Alvarado, A. M y Gómez, D.E (2003) Trabajo de graduación: Estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de *musa sapientum* (banano) utilizadas como filtro. Universidad de El Salvador.

5.1.5. Contaminación del agua en El Salvador

El Salvador posee 10 mil 255 kilómetros de ríos; pero la mayoría están contaminados, especialmente en zonas cerca de poblaciones.

Las tres fuentes fundamentales de contaminación son por causa de las aguas negras de las ciudades; las aguas residuales industriales, que contaminan con compuestos de cobre, plata, cromo, mercurio y plomo; y también, las aguas de origen agrícolas porque contienen fertilizantes, herbicidas y plaguicidas que causan la muerte de plantas y animales acuáticos.

El 98% de las aguas residuales se descarga sin tratamiento alguno en los ríos, quebradas y otras fuentes de agua de todo el país.

El río Acelhuate, el sistema de drenaje primario en San Salvador, está severamente contaminado con metales pesados y residuos domésticos e industriales. Esta agua es considerada un peligro biológico y la contaminación es tan severa que se encuentra en una situación intratable con el proceso de osmosis inversa.

5.1.6. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

Para la determinación del Índice de Calidad del Agua (ICA) es indispensable la medición de los siguientes parámetros:

- **Sólidos en diferentes formas:** los sólidos en las aguas potables y de proceso tienen gran importancia. En las aguas potables indican la calidad de la misma. En las aguas de proceso es conveniente conocer la cantidad de sólidos que contiene ya que el agua es empleada en procesos tales como alimentación a calderas, sistemas de enfriamientos o como agua integrada al mismo producto.
- **Turbidez:** es la capacidad que tiene la materia finamente dividida o en estado coloidal de dispersar la luz. Sus unidades son NTU (unidad nefelométrica de turbidez). Un agua turbia estéticamente es desagradable y es rechazada por el consumidor. La turbidez del agua es un parámetro de importancia, no solo porque es una característica de pureza en el agua a consumir, sino también porque interfiere en procesos de tratamientos de las aguas, como es la desinfección con agentes químicos o con radiación ultravioleta, disminuyendo la capacidad biocida de éstos, lo cual representa un riesgo para el consumidor.
- **Temperatura:** es un parámetro físico de suma importancia para los ecosistemas hidráulicos, aunque no es parte de las características de calidad del agua potable. Cuando la temperatura aumenta, disminuye la concentración de oxígeno disuelto y las aguas son deficientes en oxígeno, esto puede ocasionar la muerte de especies acuáticas, especialmente peces. También, la contaminación térmica puede causar trastornos en ecosistemas acuáticos ya que en algunos casos el rango de temperatura de éstos, es sumamente restringido.
- **Color:** es una propiedad física que indirectamente describe el origen y las propiedades del agua. La coloración del agua indica la posible presencia de óxidos metálicos, como puede ser el óxido de hierro, el cual da al agua un color rojizo. Las algas y material orgánico en degradación también imparten color al agua, si esto ocurre, la coloración puede deberse a la presencia de algas y microorganismos en el agua de suministro. El color, olor y sabor; así como la turbidez, son parámetros que en forma conjunta

le dan calidad al agua en lo que se refiere a sus características estéticas que son muy importantes para el consumidor.

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** es una de las pruebas más importantes para medir los efectos contaminantes de un agua residual. La DBO es definida como la cantidad de oxígeno requerida por las bacterias, para estabilizar la materia orgánica biodegradable, bajo condiciones aerobias. Por materia biodegradable se entiende como la materia orgánica que sirve como alimento a los microorganismos y que proporciona energía como resultado de su oxidación.
- **Demanda química de oxígeno:** este otro tipo de prueba consiste en determinar la cantidad total de materia orgánica, en términos de la cantidad de oxígeno, que se requiere para oxidar ésta a dióxido de carbono y agua.
- **Oxígeno disuelto:** es la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua. Es un indicador de lo contaminada que está el agua o de lo bien que ésta puede dar soporte a la vida vegetal y animal. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir. Parte del oxígeno disuelto en el agua es resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que los ríos con muchas plantas en día de sol pueden presentar sobresaturación de oxígeno disuelto.
- **pH:** el potencial de hidrógeno o pH, es un parámetro de suma importancia tanto para aguas naturales como aguas residuales. El rango de pH en el cual pueden interactuar los ecosistemas y sobrevivir las especies que lo conforman, está sumamente restringido, por lo cual si este valor es alterado, los procesos biológicos que normalmente se llevan a cabo pueden ser perturbados e inhibidos; y las consecuencias son adversas.
- **Metales pesados:** algunos metales como: cromo, níquel, cadmio, mercurio, plomo, arsénico, selenio, entre otros; presentan toxicidad. La ingestión de ellos en cantidades mínimas, pero durante un largo período; causaran daños en el organismo. La ingestión de metales tóxicos incrementa el riesgo de aparición de tumores, enfermedades en órganos vitales; aparato digestivo, respiratorio y reproductivo; con consecuencias no solo al consumidor, sino a su descendencia.

El daño y grado de toxicidad depende del elemento; ya que algunos son más tóxicos que otros; de la dosis ingerida o del tiempo de exposición al contaminante; y de la salud o condición física del receptor del agente. Como consecuencia de esto se ha establecido un límite máximo para los diferentes metales y metaloides en agua potable y estos niveles son mínimos, del orden de partes por billón, para minimizar el riesgo de daños en los consumidores de agua potable.

- **Alcalinidad:** la alcalinidad es un parámetro que determina la capacidad del agua para neutralizar los efectos ácidos que sobre ella actúan. Los constituyentes básicos de la alcalinidad son los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. La alcalinidad proviene de los minerales que se encuentran en forma de carbonatos y bicarbonatos; que son disueltos por el agua en su contacto con las capas de estratos; también, por la acción del dióxido de carbono al disolverse en agua
- **Calidad bacteriológica del agua:** es el parámetro más indispensable, en lo que se refiere a la potabilidad del agua; ya que el agua puede ser vehículo de transmisión de varias enfermedades: cólera, fiebre tifoidea, hepatitis, etc.

5.2. METALES PESADOS PRESENTES EN AGUAS INDUSTRIALES

Puesto que el tema que ocupa esta investigación es el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, es preciso que se ahonde en cómo afecta este parámetro al medioambiente y la salud humana, sin dejar de lado por supuesto las diferentes técnicas de eliminación de estos contaminantes en las aguas industriales.

Los metales pesados constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica que tienen una densidad mayor o igual a 5 g/cm³. El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aun cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), vanadio (V), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), Cu, Zn y molibdeno (Mo), se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas. (Abud, Y. C., Trujillo, M. M., & Navarro, M. A. C., 2013)

Como ya se dijo anteriormente, la calidad de las aguas puede ser alterada como consecuencia de las actividades antropogénicas o naturales que producen efectos adversos que cambian su valor para el hombre y el medioambiente. Particularmente peligroso es la contaminación provocada por las altas concentraciones de algunos metales pesados y su incremento en los efectos adversos causados por la persistencia y el fenómeno de **biomagnificación**. De forma natural, los metales son introducidos a los sistemas acuáticos como resultado de la lixiviación de suelos y rocas, y erupciones volcánicas. También pueden provenir de actividades agrícolas, domésticas, industriales y mineras. La actividad minera-metalúrgica a través del procesamiento de minerales y fundición, podría causar la dispersión y depósito de grandes cantidades de metales hacia el medio ambiente, si existe alguna operación inadecuada.

El principal inconveniente de la contaminación por metales pesados, es que no se eliminan de los ecosistemas acuáticos por procesos naturales debido a que no son biodegradables. Por el contrario, siguen un ciclo global, donde las aguas naturales son el principal camino. Es por eso, que en la actualidad los metales pesados tienen un gran significado como indicadores de la calidad del agua debida a su toxicidad y muy especialmente al comportamiento bioacumulativo.

Además, los metales pesados tienen a reaccionar con sustancias minerales (carbonatos, sulfatos, etc.) y en mayor grado con sustancias orgánicas, mediante fenómenos de intercambio iónico, adsorción, quelación, formación de combinaciones químicas, etc., por lo que se acumulan en el medio ambiente, principalmente en los sedimentos de ríos, lagos y mares.

Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas de corrientes fluviales asociados a sulfuros tales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) pueden atribuirse a la minería lo cual son causa del fuerte impacto en el medio ambiente. En cambio, otros metales no-sulfurosos como el cromo (Cr), níquel (Ni) y mercurio (Hg) posiblemente indican una contaminación antropogénica de metales pesados que están estrechamente asociados con las descargas industriales. .(Abud, Y. C., Trujillo, M. M., & Navarro, M. A. C., 2013).

5.2.1. Toxicidad de metales pesados

Existen evidencias experimentales que han llegado a demostrar el grado de importancia biológica de los iones metálicos pesados con respecto a los sistemas vivos, de los que algunos son oligoelementos, sigue

el mismo patrón que tiene su disponibilidad en la naturaleza. Además existe una aparente correlación entre la abundancia de los elementos en la corteza terrestre y las necesidades alimentarias de las células microbianas. Estos metales, en cantidades mínimas o traza, pueden ejercer efectos positivos o negativos sobre los seres vivos. (Yépez Guerrero, C. A., 2011)

El grado de toxicidad potencial de los metales pesados depende de una serie de factores. En primer lugar, depende de la propia naturaleza del metal y también de su disponibilidad en el ambiente. Atendiendo a estos dos factores, se clasificaron los metales en tres categorías:

No críticos: Fe, Mn y Al.

Tóxicos pero muy insolubles: Ti, Nb, Ta, Re, Ga, Os, Rh, Ir, Ru y Ba.

Muy tóxicos y relativamente disponibles: Be, Co, Ni, Zn, Sn, Cr, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb y Bi.

Otros factores que influyen en la toxicidad del elemento, son entre otros el estado molecular que presenta el metal, el tiempo de residencia en el sistema, el pH, el potencial redox del ambiente, los iones inorgánicos presentes en las aguas, la temperatura y diversos factores biológicos. (Yépez Guerrero, C. A., 2011)

5.2.2. Vías de entrada y origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

De acuerdo a diversas fuentes bibliográficas se puede decir que los metales tienen tres vías principales de entrada en el medio acuático:

- a) **La vía atmosférica**, se produce debido a la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos (principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales).
- b) **La vía terrestre**, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abono, lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales.
- c) **La vía directa**, de entrada de metales es a consecuencia de los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales.

5.3. TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS CON METALES PESADOS

Los procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales con metales que incluyen: precipitación, oxidación, reducción, intercambio iónico, filtración, tratamiento electroquímico, tecnologías de membrana y recuperación por evaporación los cuales resultan costosas e ineficientes, especialmente cuando la concentración de los metales es muy baja. El uso de sistemas biológicos para la eliminación de metales pesados a partir de soluciones diluidas tiene el potencial para hacerlo más efectivo. Los procesos químicos resultan costosos debido a que el agente activo no puede ser recuperado para su posterior reutilización. Además, el producto final es un lodo con alta concentración de metales lo que dificulta su eliminación. (Platt Sánchez, L. C., 2001)

La descripción de algunos procesos se presenta a continuación:

Osmosis inversa: se trata de un proceso en que los metales pesados están separados por una membrana semi-permeable a una presión mayor que la presión osmótica causada por los sólidos disueltos en las aguas residuales. La desventaja de este método es que es caro.

Electrodialisis: en este proceso, los iones metálicos se separan mediante el uso de membranas semipermeables de iones selectivas. La aplicación de un potencial eléctrico entre los dos electrodos produce una migración de cationes y aniones hacia los electrodos respectivos. Debido a la separación alternativa de las membranas de cationes y aniones permeables, se forman células de concentrados y sales diluidas. La desventaja es la formación de hidróxidos de metal que obstruyen la membrana.

Ultrafiltración: son membranas en donde la fuerza impulsora es la presión y se usan membranas porosas para la eliminación de metales pesados. La principal desventaja de este proceso es la generación de lodos.

Intercambio iónico: en este proceso, los iones metálicos de soluciones diluidas se intercambian con los iones en poder de las fuerzas electrostáticas de la resina de intercambio. Las desventajas son: alto costo y la eliminación parcial de ciertos iones.

Precipitación química: la precipitación de los metales se logra mediante la adición de coagulantes como alumbre, sales de calcio, hierro y otros polímeros orgánicos. La gran cantidad de lodos que contienen compuestos tóxicos que se producen durante el proceso es el principal inconveniente.

Fitorremediación: la fitorremediación es el uso de ciertas plantas para limpiar suelos, sedimentos y aguas contaminadas con metales. Las desventajas son que se necesita mucho tiempo para la eliminación de los metales y la regeneración de la planta de biosorción es aún más difícil.

La búsqueda de nuevas tecnologías que permiten la eliminación de metales tóxicos de las aguas residuales de forma segura, ha dirigido la atención a la biosorción, basada en la capacidad de unión de metales de diversos materiales biológicos.

Biosorción, se define como la capacidad de materiales biológicos de acumular metales pesados de aguas residuales a través de vías fisicoquímicas o metabólicas. Las algas, bacterias, hongos y levaduras han demostrado ser biosorbentes potenciales de metales. Las principales ventajas de biosorción sobre los métodos de tratamiento convencionales incluyen: bajo costo, alto rendimiento, reducción de productos químicos y lodos biológicos, no se requiere nutrientes adicionales, regeneración de biosorbente, y la posibilidad de recuperación de metales.

El proceso de biosorción involucra una fase sólida (biosorbente que es el material biológico) y una fase líquida (disolvente que es normalmente agua) que contiene una especie para ser absorbida (sorbato, los iones de metal). Debido a la mayor afinidad del sorbente por el sorbato de las especies, este último se siente atraído y atado allí por diferentes mecanismos. El proceso continúa hasta que se establece el equilibrio entre la cantidad de especies de sorbato de sólidos.

El grado de afinidad del absorbente para el sorbato determina su distribución entre las fases sólida y líquida.

Los dos mecanismos diferenciados para la captación de los metales pesados por parte de la biomasa son:

- **Bioacumulación:** basada en la absorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células de biomasa vivas.
- **Bioadsorción:** Basada en la adsorción de los iones en la superficie de la célula. El fenómeno puede ocurrir por intercambio iónico, precipitación, complejación o atracción electrostática (Platt Sánchez, L. C., 2001)

5.4. EFECTO DE LA CÁSCARA DE BANANO COMO ABSORBENTE DE METALES PESADOS

Según estudios realizados por la doctora en Ciencias Químicas, Milena Boniolo, en la Universidad Federal de Sao Carlos, Brasil (2011); al secarse y molerse hasta polvo, las cáscaras de plátano tienen la capacidad de limpiar las aguas contaminadas con metales pesados de una manera eficaz y barata. En la cáscara de plátano existen un gran número de moléculas con carga negativa. Estas moléculas tienen un gran poder de atracción sobre la carga positiva de los metales pesados.

La cáscara de banano cuenta en su composición con elementos capaces de adsorber metales pesados, como el hidroxilo y el carboxilo de pectina. La cáscara de plátano adsorbe los metales por fisisorción, ya que la especie adsorbida (fisisorbida) conserva su naturaleza química, cabe resaltar que la fisisorción es exotérmica y más general que específica. La cáscara de banano es capaz de absorber los contaminantes generados por los fertilizantes agrícolas, que tienen uranio y otros metales radiotóxicos y se filtran a los ríos, mediante un proceso barato, fácil y limpio: la llamada biosorción, que captura el 65% de esos metales contaminantes.

5.4.1. Composición química de la cáscara de banano

Se presenta una síntesis de las características químicas más importantes de la cáscara de banano.

La cáscara de banano maduro contiene aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca. La fibra cruda en la cáscara de banano maduro contiene 60% de lignina, 25% de celulosa y 15% de hemicelulosa. (Moreira Carrión, K. 2013)

TABLA N°3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CÁSCARA DE BANANO

COMPONENTES	CÁSCARA DE PLÁTANO VERDE	CÁSCARA DE PLÁTANO MADURO
Energía bruta (kcal)	4383	4592
% Humedad	91.62	95.66
% Proteína cruda	5.19	4.77
% Fibra cruda	11.58	11.95
% Calcio	0.37	0.36
% Fósforo	0.28	0.23
% Ceniza	16.30	14.58

Fuente: Moreira Carrión, K. (2013). Reutilización de residuo de la cáscara de banano (*musa paradisiaca*) y plátanos (*musa sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano. (p 21) Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

5.4.2. Cultivo de plátano y banano en El Salvador

De acuerdo a la página web del CENTA, el plátano es una planta herbácea, perteneciente a la familia de las Musáceas, que consta de un tallo subterráneo (Cormo ó Rizoma) del cual brota un Pseudotallo aéreo; el Cormo emite raíces y yemas laterales que formaran los hijos o retoños. Morfológicamente, el desarrollo de una planta de Plátano comprende tres fases: Vegetativa, Floral y de Fructificación.

- a) **Fase vegetativa:** tiene una duración de 6 meses y es donde en su inicio ocurre la formación de raíces principales y secundarias.
- b) **Fase floral:** tiene una duración aproximada de tres meses a partir de los seis meses de la fase vegetativa. El tallo floral se eleva del Cormo a través del pseudotallo y es visible hasta el momento de la aparición de la inflorescencia.
- c) **Fase de fructificación:** tiene una duración aproximada de tres meses y ocurre después de la fase floral, en esta fase se diferencia las flores masculinas (Pichotas) y las flores femeninas (dedos) y hay una disminución gradual del área foliar y finaliza con la cosecha.

5.5. PROCESOS DE ADSORCIÓN

En el blog del Instituto Nacional del Carbón (INCAR) se define la adsorción como el proceso por el que una especie química (adsorbible o adsorbato) presente, inicialmente en una fase fluida, se concentra en la interfase que la separa de otra de igual o superior grado de ordenación (adsorbente).

Hay que distinguir entre los procesos de adsorción y absorción. La absorción es un proceso por el cual un material (absorbente) es retenido por otro (adsorbato); puede ser la disolución de un gas o líquido en un líquido o sólido; o en la retención mediante fuerzas físicas de las moléculas de un gas, líquido o sustancia disuelta a la superficie o a la masa de un sólido.

En una masa de material sólido o líquido, todos los enlaces del interior entre los átomos que lo constituyen están satisfechos, pero en su superficie aparece una discontinuidad en esos enlaces. Para esos enlaces insaturados, es energéticamente favorable interactuar con la materia presente en sus alrededores, lo que se produce de forma espontánea. Por este motivo se produce el fenómeno de la adsorción.

El enlace que une los átomos de la sustancia con menor grado de ordenación con el material de mayor grado de ordenación depende de ambos materiales. Según este enlace, pueden darse dos tipos de adsorción: fisisorción y quimisorción.

La fisisorción o adsorción física tiene lugar mediante interacciones denominadas fuerzas de Van der Waals o fuerzas de dispersión London, que dan lugar a una atracción débil entre el adsorbato y el adsorbente. Por su parte, la quimisorción tiene lugar mediante enlaces químicos, dando lugar a fuerzas de interacción mayores.

Algunas de las principales aplicaciones de la adsorción son las siguientes:

- Purificación de aguas residuales
- Descontaminación de gases

- Eliminación de olores, sabores o colores no deseados por ejemplo en aceites
- Deshumidificación de gasolinas
- Secado de aire
- Ciencia forense (revelado de huellas dactilares)

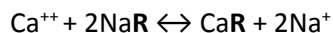
5.5.1. Intercambio iónico

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido-sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido-fluido y de la velocidad de transferencia de materia. Los sólidos suelen ser de tipo polimérico, siendo los más habituales los basados en resinas sintéticas. (Icedo García, R., 2011)

Una resina de intercambio iónico puede considerarse como una estructura de cadenas hidrocarbonadas a las que se encuentran unidos de forma rígida grupos iónicos libres. Estas cadenas se encuentran unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que proporciona rigidez a la resina y donde el grado de reticulación o entrecruzamiento determina la estructura porosa interna de la misma. Como los iones deben difundirse en el interior de la resina para que ocurra el intercambio, la selección del grado de reticulación puede limitar la movilidad de los iones participantes. (Icedo García, R., 2011)

Las cargas de los grupos iónicos inmóviles se equilibran con las de otros iones, de signo opuesto, denominados contraiones, que están libres y que son los que se intercambian realmente con los del electrolito disuelto. Cuando dichos iones son cationes, los cambiadores iónicos se denominan catiónicos y cuando son aniones se denominan aniónicos.

El intercambio iónico puede explicarse como una reacción reversible implicando cantidades químicamente equivalentes. Un ejemplo común del intercambio catiónico es la reacción para el ablandamiento del agua: (Icedo García, R., 2011)



donde **R** representa un lugar estacionario aniónico univalente en la malla del polielectrolito de la fase intercambiador.

5.5.2. Intercambio iónico en lecho fijo

La operación de intercambio iónico se realiza habitualmente en semicontinuo, en un lecho fijo de resina a través del cual fluye una disolución. El régimen de funcionamiento no es estacionario por variar continuamente la concentración de los iones en cada punto del sistema. Las instalaciones constan generalmente de dos lechos idénticos, de forma que si por uno de ellos circula la disolución que contiene los iones que se desea intercambiar, el otro se está regenerando. (Práctica: Intercambio Iónico. [en línea] Universidad Autónoma de Madrid. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2015] Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf)

Al inicio de la operación de un lecho, la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar cerca de la entrada del lecho donde el fluido se pone en contacto con intercambiador fresco. A medida que transcurre el tiempo, el sólido próximo a la entrada se encuentra prácticamente saturado y la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar lejos de la entrada. Debido a la resistencia que opone el sistema a la transferencia de iones desde el seno del líquido a los centros de intercambio, se establece un gradiente de concentración en el lecho. La región donde ocurre la mayor parte del cambio de concentración es la llamada zona de transferencia de materia, esta zona separa la zona virgen de la resina y la de saturación y sus límites frecuentemente se toman como $c/co = 0,95$ a $0,05$.

A medida que progresa el intercambio iónico la zona de transferencia de materia se traslada en el lecho hasta alcanzar su extremo inferior, instante a partir del cual la disolución de salida contendrá cantidades crecientes de los iones que se desea intercambiar.

El tiempo transcurrido desde el comienzo de la operación en el lecho hasta que los iones de la disolución aparecen en la corriente de salida o más concretamente, cuando se alcanza la máxima concentración permisible en el efluente, se denomina Tiempo de ruptura (t_R). En este momento, la corriente se desviaría a un segundo lecho, iniciando el proceso de regeneración del primero. La curva que representa la evolución de la concentración del efluente que abandona el lecho recibe el nombre de Curva de ruptura.

El conocimiento de la curva de ruptura, es fundamental para el diseño de un lecho fijo de intercambio iónico, y en general debe determinarse experimentalmente, dada la dificultad que entraña su predicción. (Practica: Intercambio Iónico. [en línea] Universidad Autónoma de Madrid. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2015] Disponible en:

https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf)

5.6. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA RESINA

Se define como Capacidad de la resina el valor de la concentración de iones que pueden ser retenidos por una unidad de peso de resina. Suele expresarse como meq de soluto retenidos/g resina seca. La capacidad de la resina es un parámetro fundamental para la selección del intercambiador ya que generalmente se requieren capacidades altas para la separación o purificación a realizar. (Practica: Intercambio Iónico. [en línea] Universidad Autónoma de Madrid. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2015] Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf)

La determinación de la capacidad máxima de una resina catiónica se realiza intercambiando ésta con una disolución básica: se produce una reacción irreversible entre el catión saliente de la resina con los iones OH^- de la disolución de tal forma que si existe suficiente concentración de soluto llega a agotarse la capacidad total de la resina.

Para el cálculo de la capacidad de la resina en lecho fijo en unas condiciones determinadas es necesario conocer cuál es la cantidad total de soluto retenido por la misma. Este valor se puede determinar a partir de la curva de ruptura del sistema en función del volumen eluido, calculando el área de la zona comprendida entre la curva de ruptura y la línea recta horizontal correspondiente a la concentración de la disolución de entrada. Dividiendo este valor entre el peso total de resina contenido en la columna, se determinará la capacidad de la resina utilizada en ciertas condiciones. (Practica: Intercambio Iónico. [en

[línea] Universidad Autónoma de Madrid. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2015] Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf

5.6.1. Fracción de lecho utilizado

La fracción de lecho utilizado en el punto de ruptura o a cualquier tiempo de la operación se puede determinar a partir de la cantidad de soluto retenida en ese punto y la capacidad de la resina.

La cantidad de soluto retenida a un tiempo dado se calcula determinando el área de la zona comprendida entre el tramo correspondiente de la curva de ruptura y la línea recta horizontal que corresponde a la concentración de la disolución de entrada. (Practica: Intercambio Iónico. [en línea] Universidad Autónoma de Madrid. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2015] Disponible en: https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf)

5.6.2. Longitud de lecho no utilizado

Una vez iniciada la operación de intercambio, el perfil de concentración en la zona de transferencia de materia adquiere pronto su forma característica y una anchura que no varía al desplazarse a través del lecho. Por tanto, si se utilizan diferentes longitudes de lecho, manteniendo constante el resto de las condiciones, se obtendrán curvas de ruptura de la misma forma.

En lechos de gran longitud la zona de transferencia representa una fracción menor de forma que se utiliza una mayor fracción y longitud de lecho. La longitud de lecho no utilizado en un punto determinado se puede calcular a partir de la fracción del lecho utilizado y la longitud del lecho. (Practica: Intercambio Iónico. [en línea] Universidad Autónoma de Madrid. [Fecha de consulta: 30 de abril de 2015] Disponible en:

https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf)

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se considera una investigación de tipo experimental y retrospectiva por tener como objeto de estudio la manipulación de variables experimentales bajo condiciones controladas y además de poseer un carácter exploratorio pues se realiza con el propósito de obtener datos fieles y seguros para que sirvan de base en estudios futuros

6.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los tópicos fueron consultados en la web; en artículos del Área de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Madrid; así mismo en tesis en opción de grado de Ingeniería Química de la Universidad de Guayaquil, y en tesis en opción de grado de Licenciatura en Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, por citar las fuentes de información más relevantes. Así mismo, se ha consultado bibliografía, en bases de datos tales como CBUES, Libhub, Google Academycs, por citar algunos. Además, en cuanto a patentes se refiere, se utilizó la base de datos Spacenet.com.

6.2. FASE DE LABORATORIO

Se tiene contemplado realizar esta fase en cuatro etapas. Cabe mencionar que a lo largo de todo el desarrollo experimental se involucró a dos estudiantes destacados de nuestra Escuela.

1. Recolección y tratamiento de cáscara de plátano o guineo maduro, la cual fue provista por la Cafetería Escuela de ITCA FEPADÉ.
2. Elaboración de muestras de agua con concentraciones conocidas de los metales pesados de estudio en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química.
3. Elaboración de la Biorresina, caracterización y pruebas de efectividad de la misma.
4. Determinación de concentración de metales pesados (níquel, hierro y cromo) en las muestras de agua, después de haber sido filtradas utilizando la Biorresina. Esta etapa se desarrolló en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química.

Todos los procedimientos, materiales, equipos y personal involucrado en cada una de estas etapas se detallaran en los siguientes apartados:

6.2.1. Recolección y tratamiento de las cáscaras.

Para consultar imágenes de todos los procedimientos de la fase de laboratorio, consultar el Anexo A.

La mayor parte de las cáscaras tanto de plátano (*Musa balbisiana*), como de guineo (*Musa × paradisiaca*) fueron suministradas por la Cafetería Escuela de ITCA FEPADÉ, pues son desechos de sus actividades diarias; por lo tanto, se aprovechó esta circunstancia para asegurarse de una provisión diaria y de volumen considerable.

Las cáscaras se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio al 2 – 5 % p/v por 5 – 10 minutos. Después de esto, se escurrían y se secaba el exceso de agua con papel toalla.

Posteriormente, las cáscaras se limpiaron de tallos, partes dañadas o podridas, y se les retiró restos del fruto.

Luego, fueron dispuestas en bandejas de aluminio y fueron secadas en estufa, la temperatura de secado osciló entre 90 ° C a 105 ° C, el tiempo de secado varió entre: 8 a 16 horas, por lote de cáscaras. Si las cáscaras secas no se trituraban inmediatamente, estas se colocadas en desecadores.

Para triturar las cáscaras se utilizaron mortero y pistilo, y para reducir su tamaño de partícula todavía más, se usó un procesador de alimentos. Una vez lista la Biorresina, se procedió a caracterizarla tal y como sigue:

6.2.2. Caracterización de la Biorresina

Determinación de pH

- Calibrar el pH-metro con solución buffer 7.
- Pesar 2 gramos de Biorresina.
- Diluir la Biorresina en 20 ml de agua.
- Dejar reposar la mezcla por 10 minutos.

-
- Medir el pH de la solución.
 - Hacer el procedimiento por duplicado.

Densidad aparente seca.

- Pesar una probeta vacía.
- Llenar la probeta con la Biorresina hasta la marca de 10 cm³
- Repetir el mismo procedimiento 3 veces.
- Calcular la densidad promedio con la siguiente formula

$$\rho = m/v$$

Solubilidad en agua

- Pesar 2 gramos de resina en un beacker de 50 mL.
- Agregar 20 mL de agua destilada.
- Agitar y dejar reposar
- Reportar si es soluble o insoluble
- Repetir el mismo procedimiento utilizando etanol y bencina de petróleo

6.2.3. Elaboración de muestra de agua.

Se elaboraron 4 litros de muestra de agua, con concentración de 20 ppm de los siguientes metales Fe (III) , Ni (II), Pb (II) y Cr (VI), se prepararon de la siguiente manera:

Realizar los cálculos para preparar una solución madre de 20 ppm que contenga los metales a determinar, para el caso: óxido de cromo (VI), sulfato de níquel (II) y cloruro de hierro (III). **(Los resultados de estos cálculos pueden ser consultados en el Anexo B1)**

Se pesaron las cantidades necesarias en balanza analítica.

Se disolvieron las sales y óxidos en agua destilada, hasta completar el volumen requerido y se añadió ácido nítrico para conservar su estabilidad.

Por último, se almaceno en refrigeración.

6.2.4. Pruebas de filtración utilizando Biorresina a partir de cáscara de banano o de guineo.

Construcción del filtro.

Se utilizaron columnas cromatográficas como soporte para la Biorresina. En ellas se dispuso la cantidad necesaria de Biorresina a utilizar. Tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen:



IMAGEN 1. FILTROS ELABORADOS CON LA BIORRESINA.

Pruebas de la influencia de la cantidad de Biorresina en el porcentaje de remoción de metales pesados en una muestra de agua.

Se pretende comprobar si la cantidad de Biorresina influye en el porcentaje de remoción de metales pesados en una muestra de agua, para ese efecto se hicieron dos pruebas; una, utilizando 20 gramos de la Biorresina y la segunda, con 30 gramos de la Biorresina. El procedimiento se describe a continuación:

Se pesaron 20 gramos de Biorresina y 30 gramos de Biorresina por duplicado.

A los filtros 1 y 3 se le colocaron 20 gramos de Biorresina a cada uno.

A los filtros 2 y 4 se le agregaron 30 gramos de resina a cada uno.

A cada filtro se le adicionaron 100 mL de la muestra de agua fabricada en 6.2.3

Se recolecto y guardo el filtrado en frascos ámbar, los cuales se almacenaron en refrigeración para su posterior análisis.

En la siguiente imagen se puede apreciar la organización de los filtros.

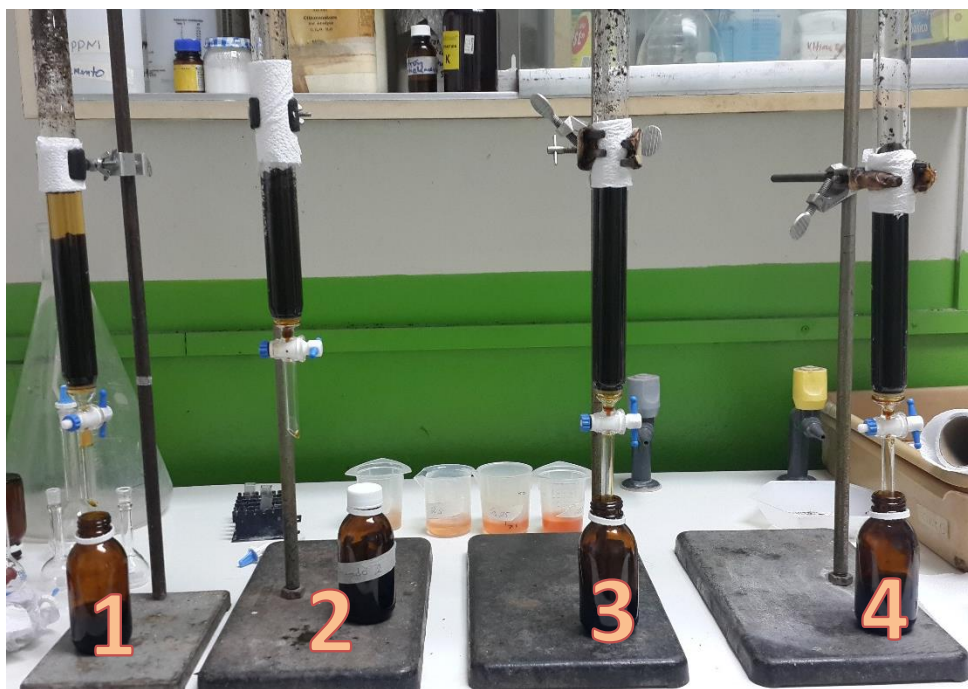


IMAGEN 2. DISPOSICIÓN DE LOS FILTROS PARA LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

Pruebas de la influencia del tiempo de contacto con la Biorresina en el porcentaje de remoción de metales pesados en una muestra de agua.

Esta prueba se realizó en paralelo al experimento anterior, con las mismas cantidades de Biorresina descritas en el apartado que precede.

Se agregaron 100 mL de muestra de agua a cada filtro - columna. Previamente se había cerrado la válvula de la columna para retener la muestra de agua un tiempo determinado.

Para el caso de los filtros 1 y 3, el tiempo de contacto de la muestra de agua con la Biorresina se fijó en 30 minutos.

El tiempo de contacto para los filtros 2 y 4 fue de 90 minutos.

Al completar el tiempo respectivo, se abrió la válvula de la columna y se evacuó su contenido.

Se recolectó y guardó el filtrado en frascos ámbar, los cuales se almacenaron en refrigeración para su posterior análisis.

Pruebas de la influencia de la temperatura de la muestra de agua en el porcentaje de remoción de metales pesados.

Se colocaron 20 gramos de Biorresina en cada filtro.

Las pruebas se realizaron por duplicado.

Cada muestra de agua, de 100 mL cada una, fue calentada en hot – plate, a las temperaturas de estudio, las cuales fueron: 30 °C, 40 °C y 50 °C.

Una vez alcanzada la temperatura requerida, la muestra se vertía en el filtro con la Biorresina.

El tiempo de contacto del filtro y la Biorresina fue de aproximadamente 30 minutos.

Al final, se guardó el filtrado en frascos ámbar, los cuales se almacenaron en refrigeración para su posterior análisis.

Pruebas de comparación entre Biorresina a partir de cáscara de guineo y Biorresina obtenida de cáscara de plátano.

Con el objetivo de comprobar si existe alguna relación entre el origen de la Biorresina (cáscara de plátano o de guineo) y su capacidad de remoción de metales pesados en aguas, se procedió a realizar pruebas de filtración, tal y como se describen a continuación:

Se colocaron 20 gramos de Biorresina de cáscara de guineo en dos filtros.

Se adicionaron 100 mL de muestra de agua a cada filtro.

Al final, se guardó el filtrado en frascos ámbar, los cuales se almacenaron en refrigeración para su posterior análisis.

Exactamente el mismo procedimiento se repitió con la Biorresina de cáscara de plátano.

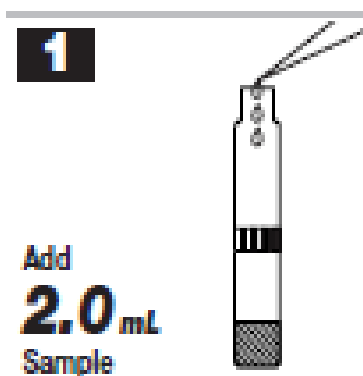
6.2.5. Determinación de concentración de metales pesados en los filtrados por medio de espectrofotometría visible.

Una vez recolectados todos los filtrados, se observó que estos habían adquirido una coloración parda amarillenta, producto de su contacto con la Biorresina. Por lo tanto, antes de ser analizados en el espectrofotómetro VIS, se hizo una dilución del filtrado 1:50, para eliminar esta interferencia por el color.

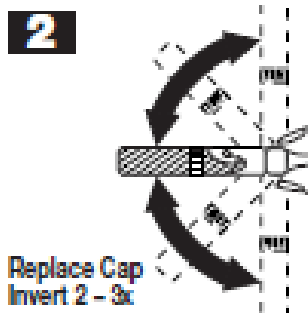
Los procedimientos seguidos para la cuantificación de la reducción de la concentración de los metales pesados de estudio, se detalla a continuación:

Determinación de concentración de hierro (III) en los filtrados por espectrofotometría VIS.

Se tomó una alícuota de 2 mL del filtrado diluido (solución 1:50).



Cerrar la cubeta e invertir varias veces hasta que el contenido liofilizado se haya disuelto.



Esperar 15 minutos.

Limpiar bien el exterior de la cubeta y colocarla en el soporte y portacubetas. Después de colocar la cubeta, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una lectura automática por parte del espectrofotómetro visible HACH 2800.



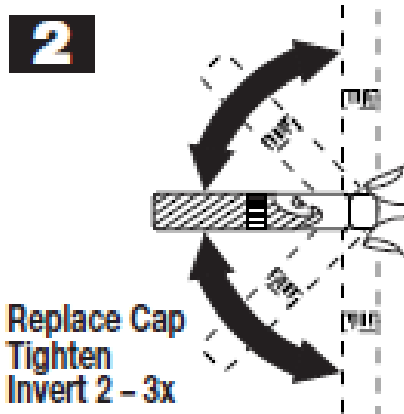
El resultado se despliega en la pantalla en mg / L.

Para conocer la concentración real del filtrado se multiplica por el factor de dilución (Ver sección 7.2. Consideraciones)

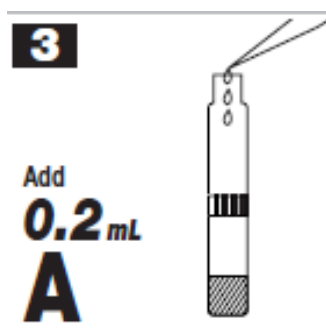
Determinación de concentración de níquel (II) en los filtrados por espectrofotometría VIS.

Se tomó una alícuota de 2 mL del filtrado diluido (solución 1:50).

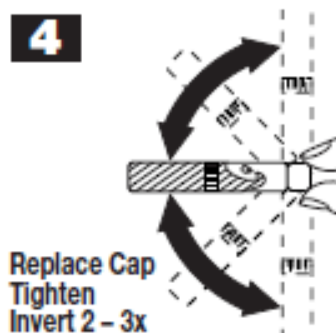
Cerrar la cubeta e invertir varias veces hasta que el contenido liofilizado se haya disuelto.



Pipetear 0.2 mL de la solución A en la cubeta.



Cerrar la cubeta e invertir.



Esperar 3 minutos.

Limpiar bien el exterior de la cubeta y colocarla en el soporte portacubetas. Después de colocar la cubeta, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.

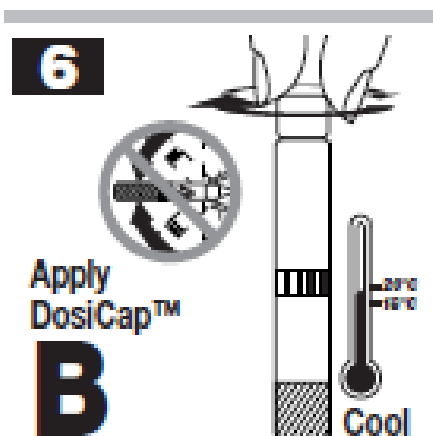
El resultado se despliega en la pantalla en mg / L.

Para conocer la concentración real del filtrado se multiplica por el factor de dilución (Ver sección 7.2. Consideraciones)

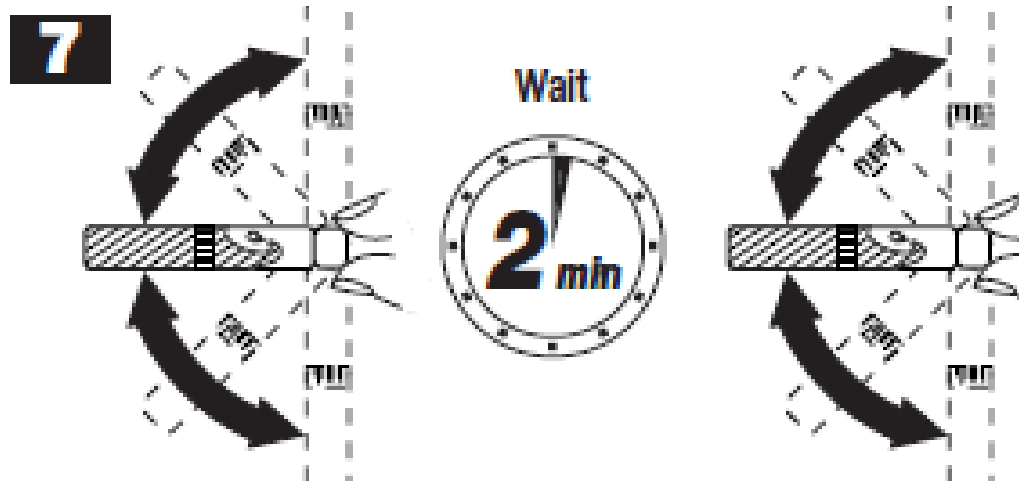
Determinación de concentración de Cromo (VI) en los filtrados por espectrofotometría VIS.

Se tomó una alícuota de 2 mL del filtrado diluido (solución 1:50).

Roscar una DosiCap B de color naranja sobre la cubeta.



Agitar la cubeta 2 a 3 veces. Transcurridos dos minutos volver a agitar la cubeta 2 a 3 veces.



Limpiar bien el exterior de la cubeta y colocarla en el soporte portacubetas. Después de colocar la cubeta, el código de barras es identificado y se lleva a cabo una evaluación automática.

El resultado se despliega en la pantalla en mg / L.

Para conocer la concentración real del filtrado se multiplica por el factor de dilución (Ver sección 7.2. Consideraciones)

7. RESULTADOS

7.1. CARACTERIZACIÓN DE LA BIORRESINA.

Los parámetros determinados en el Laboratorio de Química fueron: pH, solubilidad en agua y en otros solventes y densidad. Los resultados se muestran a continuación:

TABLA NO 4. RESULTADOS DE PRUEBAS FISICOQUÍMICAS DE BIORRESINA DE PLÁTANO Y DE GUINEO.

PARÁMETRO	BIORRESINA DE PLÁTANO		BIORRESINA DE GUINEO	
<i>pH</i>	5.2		4.8	
<i>SOLUBILIDAD EN AGUA</i>	Insoluble		Insoluble	
<i>SOLUBILIDAD EN OTROS SOLVENTES</i>	Bencina de petróleo	Etanol	Bencina de petróleo	Etanol
	Insoluble en ambos solventes		Insoluble en ambos solventes	
<i>DENSIDAD</i>	362.33 g/L		352.00 g/L	

Fuente: Elaboración propia.

7.2.RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DE LA CANTIDAD DE BIORRESINA Y VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN UNA MUESTRA DE AGUA.

Después de haber tratado la muestra de agua, filtrarla con la Biorresina, procesar los filtrados y leer sus concentraciones en el espectrofotómetro visible HACH 2800; se obtuvieron los siguientes resultados:

Consideraciones:

Se hace la aclaración que las concentraciones reportadas por el instrumento corresponden a los filtrados diluidos 1:50; por lo cual; se multiplicó este resultado por el factor de dilución para obtener el valor real de la concentración del metal pesado correspondiente. El cálculo de ese factor de dilución se explica a continuación:

$$\text{Concentración real (ppm)} = \text{Factor de dilución} \times \text{Concentración leída en espectrofotómetro}$$

$$\text{Factor de dilución} = \frac{50 \text{ mL}}{1 \text{ mL}} \times \frac{1}{2} = 25$$

En donde:

La primera dilución se tomó una alícuota de 1 mL y se aforó a 50 mL.

La segunda operación consistió en tomar una alícuota de 2 mL y procesarla de acuerdo a los procedimientos explicados en la sección 6.2.5.

Dicho esto, estas son las concentraciones reales de los metales pesados en ppm, después de la filtración:

***Concentración inicial de cada uno de los metales: 20 ppm**

TABLA NO 5. RESULTADOS DE PRUEBAS DE TIEMPO DE CONTACTO Y CANTIDAD DE BIORRESINA EN EL FILTRADO DE AGUA CONTAMINADA.

FILTRADO	TIEMPO DE CONTACTO (MINUTOS)	CANTIDAD DE BIORRESINA (G)	CONCENTRACIÓN (PPM)		
			Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
1	60	20.0	7.8726	5.1250	16.1625
2	90	20.0	5.5570	2.4750	14.6000
3	60	30.0	7.6784	4.0750	18.5750
4	90	30.0	5.6893	3.5250	15.9750

Fuente: Elaboración propia.

Visto en términos de porcentaje de reducción de cada metal en específico, se tiene lo siguiente:

TABLA NO 6. PORCENTAJES DE REDUCCIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS, DESPUÉS DE LA FILTRACIÓN.

FILTRADO	TIEMPO (MINUTOS)	CANTIDAD DE BIORRESINA (G)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN (%)		
			Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
1	60	20.0	60.64%	74.38%	19.19%
2	90	20.0	72.22%	87.63%	27.00%
3	60	30.0	61.61%	79.62%	7.13%
4	90	30.0	71.55%	82.34%	20.13%

Fuente: Elaboración propia.

7.3. RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DEL ORIGEN DE LA BIORRESINA, EN LA CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN UNA MUESTRA DE AGUA.

Concentración inicial de cada uno de los metales: 20 ppm

TABLA 7. COMPARACIÓN DE REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (PPM) DE METALES PESADOS (FE³⁺, CR⁶⁺, NI²⁺) UTILIZANDO COMO MEDIO FILTRANTE BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO Y CÁSCARA DE PLÁTANO.

	Nº PRUEBA	CONCENTRACIÓN (PPM)	CONCENTRACIÓN (PPM)	CONCENTRACIÓN (PPM)
		FE ³⁺ (1)	CR ⁶⁺ (2)	NI ²⁺ (3)
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO	1	3.875	0.725	16.77
	2	6.325	0.675	16.15
	PROMEDIO:	5.100	0.7	16.46
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PLÁTANO	1	14.375	1.75	14.920
	2	10.750	2.5	16.075
	PROMEDIO	12.563	2.125	15.498

Fuente: Elaboración propia.

(1) $\lambda = 510$ nm. Leído en espectrofotometro Hach 2800

(2) $\lambda = 543$ nm. Leído en espectrofotometro Hach 2800

(3) $\lambda = 463$ nm. Leído en espectrofotometro Hach 2800

TABLA NO 8. COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+}) UTILIZANDO COMO MEDIO FILTRANTE BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO Y CÁSCARA DE PLÁTANO.

	Nº PRUEBA	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE Fe^{3+} (1)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE Cr^{6+} (2)	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE Ni^{2+} (3)
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO	1	80.62%	96.38%	16.15%
	2	68.38%	96.63%	19.25%
	PROMEDIO:	74.5%	96.51%	17.7%
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PLÁTANO	1	28.125%	91.25%	25.4%
	2	46.25%	87.5%	19.63%
	PROMEDIO	37.19%	89.38%	22.51%

Fuente: Elaboración propia.

7.4. RESULTADOS DE LA INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA MUESTRA DE AGUA, EN LA CONCENTRACIÓN Y PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN UNA MUESTRA DE AGUA

TABLA NO 9. COMPARACIÓN DEL IMPACTO DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (PPM) DE METALES PESADOS (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+}) UTILIZANDO COMO MEDIO FILTRANTE BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO Y CÁSCARA DE PLÁTANO.

	TEMPERATURA DE PRUEBA (°C)	CONCENTRACIÓN (PPM) Fe^{3+} ⁽¹⁾	CONCENTRACIÓN (PPM) Cr^{6+} ⁽²⁾	CONCENTRACIÓN (PPM) Ni^{2+} ⁽³⁾
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO	30 °C	1.836	0.925	13.6
	40 °C	6.975	0.950	13.0
	50 °C	8.85	1.225	13.25
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PLÁTANO	30 °C	14.3	1.700	16.35
	40 °C	15.236	2.750	17.35
	50 °C	19.25	2.725	17.75

Fuente: Elaboración propia.

TABLA NO 10. COMPARACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+}) VARIANDO LA TEMPERATURA, UTILIZANDO COMO MEDIO FILTRANTE BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO Y CÁSCARA DE PLÁTANO.

	TEMPERATURA DE PRUEBA (°C)	PORCENTAJE DE REMOCIÓN Fe^{3+}	PORCENTAJE DE REMOCIÓN Cr^{6+}	PORCENTAJE DE REMOCIÓN Ni^{2+}
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO	30 °C	90.82%	95.38%	32.00%
	40 °C	65.13%	95.25%	35.00%
	50 °C	55.75%	93.88%	33.75%
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PLÁTANO	30 °C	28.5%	91.5%	18.25%
	40 °C	23.82%	86.25%	13.25%
	50 °C	3.75%	86.38%	11.25%

Fuente: Elaboración propia.

7.5. CANTIDAD DE BIORRESINA Y TIEMPO DE CONTACTO

La concentración inicial de hierro, níquel y cromo en la muestra de agua era de 20 partes por millón (ppm)

TABLA NO 11. RESULTADOS DE PRUEBAS DE TIEMPO DE CONTACTO Y CANTIDAD DE BIORRESINA EN EL FILTRADO DE AGUA CONTAMINADA.

Filtrado	Tiempo de contacto (minutos)	Cantidad de Biorresina (g)	Concentración inicial de metales (ppm) en la muestra de agua	Concentración de los metales después del filtrado (ppm) ¹			Porcentaje ² (%) de reducción de metales en la muestra		
				Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺	Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
1	60	20.00	20.00	7.87	5.12	16.16	60.64	74.38	19.19
2	90	20.00	20.00	5.56	2.48	14.60	72.22	87.63	27.00
3	60	30.00	20.00	7.68	4.08	18.58	61.61	79.62	7.13
4	90	30.00	20.00	5.69	3.52	15.98	71.55	82.34	20.13

Fuente: Elaboración propia.

7.6. TIPO DE BIORRESINA.

Puesto que en las pruebas anteriores, para un tiempo de contacto de 90 minutos, se observó que con 20 gramos de Biorresina se obtuvieron mayores porcentajes de remoción, se optó por hacer esta prueba con esa cantidad de Biorresina en cada filtro, los resultados se presentan a continuación:

TABLA NO 12. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS UTILIZANDO COMO MEDIO FILTRANTE BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO Y CÁSCARA DE PLÁTANO. [ELABORACIÓN PROPIA]

	No prueba	Concentración inicial de metales (ppm) en la muestra de agua	Concentración de los metales después del filtrado (ppm)			Porcentaje (%) de reducción de metales en la muestra		
			Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺	Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
BIORRESINA OBTENIDA DE CASCARA DE GUINEO	1	20.00	3.88	0.72	16.77	80.62	96.38	16.15
	2		6.32	0.68	16.15	68.38	96.63	19.25
	PROMEDIO		5.10	0.70	16.46	74.5	96.51	17.7
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PLÁTANO	1	20.00	14.38	1.75	14.92	28.125	91.25	25.4
	2		10.75	2.50	16.08	46.25	87.5	19.63
	PROMEDIO		12.56	2.12	15.50	37.19	89.38	22.51

¹ ppm: partes por millón (miligramos por cada litro de solución).

² Porcentajes en masa.

7.7. VARIACIÓN DE TEMPERATURA.

Por las mismas razones que se explicaron en el apartado anterior, la cantidad de Biorresina en cada filtro fue de 20 gramos.

TABLA NO 13. COMPARACIÓN DEL IMPACTO DE LA VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN (PPM) DE METALES PESADOS UTILIZANDO COMO MEDIO FILTRANTE BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO Y CÁSCARA DE PLÁTANO. [ELABORACIÓN PROPIA]

	Temperatura de prueba (°C)	Concentración inicial de metales (ppm) en la muestra de agua	Concentración de los metales después del filtrado (ppm)			Porcentaje (%) de reducción de metales en la muestra		
			Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺	Fe ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni ²⁺
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE GUINEO	30 °C	20.00	1.84	0.92	13.60	90.82	95.38	32.00
	40 °C	20.00	6.98	0.95	13.00	65.13	95.25	35.00
	50 °C	20.00	8.85	1.22	13.25	55.75	93.88	33.75
BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARA DE PLÁTANO	30 °C	20.00	14.30	1.70	16.35	28.5	91.5	18.25
	40 °C	20.00	15.24	2.75	17.35	23.82	86.25	13.25
	50 °C	20.00	19.25	2.72	17.75	3.75	86.38	11.25

7.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las caracterizaciones realizadas en el laboratorio tienen como finalidad determinar algunos parámetros físico-químicos de la Biorresina, tales como: la densidad, el potencial de hidrógeno y solubilidad en agua y solventes orgánicos; para que de esta manera se pueda establecer una comparación con otras resinas de intercambio iónico existentes en el mercado.

Solubilidad en agua y otros solventes: Las resinas de intercambio iónico son materiales macromoleculares insolubles en agua, pero una característica distintiva es su solubilidad en alcohol, pero esta varía de acuerdo a la temperatura, algunas son fácilmente solubles a temperatura ambiente mientras tanto otras a temperatura de ebullición, y algunas muestran poca solubilidad en tanto en frío como en caliente. El experimento de laboratorio se realizó a temperatura ambiente, y demostró que la Biorresina tanto de plátano como de guineo es insoluble en agua, alcohol y bencina de petróleo, posteriores experimentos a distintas temperaturas serían útiles para corroborar solubilidad en alcoholes.

Carácter y tipo de Biorresina: Otro punto a considerar es el carácter ácido o básico de la Biorresina. En el caso particular de la biomasa de las cáscaras de plátano y guineo se trata de una resina de carácter ácido (pH promedio de ambas Biorresinas = 5). Además, tomando como referencia investigaciones previas como la de la Dra Boniolo [10], se sabe que posee un grupo carboxilo unido a una matriz de un polímero tridimensional (lignina); eso, más las pruebas en el agua filtrada con la Biorresina, permite tipificarla como una **resina de intercambio catiónico débil**.

Densidad aparente seca: La densidad aparente seca de una resina se expresa en masa de resina por volumen (g/L). El valor promedio obtenido de ambas Biorresinas es de **339.17 g/L**, se puede decir que es relativamente bajo, si se compara con resinas de intercambio iónico sintéticas y que actualmente se comercializan en el mercado. De acuerdo a fichas técnicas consultadas en la web, estas reportan valores de densidad aparente seca, que oscila en el rango comprendido entre 600 g/L – 800 g/L; esto es, debido a que se han desarrollado resinas más densas, con un mayor grado de entrecruzamiento, para aplicaciones industriales más pesadas que el tradicional tratamiento de aguas. Lo cual lleva a sospechar que la Biorresina, tiene un grado de entrecruzamiento bajo, que podría resultar en una estabilidad y selectividad baja; estas dos últimas características podrían corroborarse con la realización de más pruebas a la Biorresina.

Sobre el efecto de la temperatura: En cuanto a la influencia de la temperatura de operación de la Biorresina, se determinó que a 30 °C el porcentaje de remoción fue levemente mayor en comparación con otras temperaturas (40 a 50 °C). Estudios anteriores sugieren que al trabajar con biomásas, como las cáscaras de frutas, en la remoción de metales pesados; la influencia de la temperatura al elevarse, causará un cambio en la textura del sorbente y un deterioro del material (las cáscaras de plátano y guineo) que disminuirían la capacidad de adsorción de la Biorresina.

Sobre el efecto del tiempo de contacto: A mayor tiempo de retención, más eficiente la remoción de metales pesados. El tiempo de contacto óptimo (en el cual se presentó el mayor porcentaje de remoción de Fe^{3+} , Cr^{6+} y Ni^{2+}), según el experimento realizado en el laboratorio, fue de 90 minutos.

Sobre la cantidad de Biorresina: Se determinó que los mejores resultados, en términos globales, se obtuvieron con 30.0 gramos de Biorresina dispuesta en los filtros, para el cromo hexavalente se retuvo arriba del 80%, del hierro (III) alrededor del 70% y para el níquel (II) el valor rondaba el 20%.

Sobre la selectividad de la Biorresina: La selectividad es la propiedad de los intercambiadores iónicos, por la que un intercambiador muestra mayor afinidad por un ion que por otro. La selectividad depende de la carga y el tamaño de los iones. La influencia más importante es la magnitud de la carga del ion *ya que una resina prefiere contraiones de elevada valencia*. Este factor fue comprobado en el laboratorio, en base a los resultados obtenidos, y aun variando las condiciones de tiempo de contacto y temperatura de operación de la Biorresina; se puede afirmar que el mayor porcentaje de remoción lo presentó el cromo hexavalente, seguido del ion hierro (III) y por último, el ion níquel (II). La selectividad (cualitativa) de la Biorresina quedaría representada de la siguiente manera: $\text{Cr}^{6+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ni}^{2+}$.

Interferencias: Es importante monitorear el pH y la temperatura del agua filtrada para evitarlas. Pero las principales interferencias encontradas en esta investigación, fueron las causadas por el color que adquiere el agua al ponerse en contacto con la Biorresina, que producía una coloración pardo amarillenta, para evitar dificultades en la cuantificación de las especies químicas, la muestra se tuvo que diluir hasta que este inconveniente desapareciera. Otro factor muy importante fue la presencia de concentraciones de otros metales, que deben ser de especial mención si la muestra de agua es residual (de cuerpo receptor o alcantarilla) o tratada, pero en este caso se debió a que la muestra se fabricó en el laboratorio con una mezcla de sales y óxidos de los metales de estudio. Para corregir esta interferencia se utilizaron blancos de reactivo en la determinación de los metales pesados.

8. CONCLUSIONES

Se comprobó la hipótesis planteada en esta investigación, puesto que se obtuvo una reducción, pero no eliminación, de los cationes Fe^{3+} , Cr^{6+} y Ni^{2+} , en agua contaminada; utilizando la resina elaborada a partir de las cáscaras de guineo y de plátano, secadas y pulverizadas, como medio filtrante.

En base a los resultados de las pruebas de laboratorio para caracterizar la Biorresina, se determinó que es insoluble en agua, bencina de petróleo y en etanol; y que tiene un pH promedio de 5.0 (carácter ácido) y una densidad seca aparente de 355 g/L; lo cual permite tipificarla, preliminarmente, como una **resina de intercambio catiónico débil con un grado de entrecruzamiento bajo**.

Se determinó que la temperatura óptima de operación de la Biorresina fue de 30 °C, después de analizar los filtrados de agua contaminada en el espectrofotometro VIS HACH 2800: obteniéndose los siguientes porcentajes de reducción en la concentración de metales pesados: 93.44% Cr^{6+} , 59.66 % Fe^{3+} y 25.13 % Ni^{2+} (todos los porcentajes presentados son en base a masa); notándose que la especie más sensible al efecto de la Biorresina fue el cromo hexavalente.

El tiempo de contacto óptimo resultó ser de 90 minutos, en el cual se presentaron los mayores porcentajes de remoción, los cuales fueron: 71.89% de Fe^{3+} , 84.99 % de Cr^{6+} y 23.57 % de Ni^{2+} . Nuevamente el cromo hexavalente fue el que presentó mayor afinidad con la Biorresina, siendo el metal pesado con el mayor porcentaje de remoción.

Se determinó conforme a los resultados de las pruebas de filtrado de agua contaminada con la Biorresina, que la selectividad de la misma, es la siguiente: $\text{Cr}^{6+} > \text{Fe}^{3+} > \text{Ni}^{2+}$. Y es totalmente consistente con el comportamiento de otras resinas intercambiadoras de cationes, que prefieren la retención de contraiones de elevada valencia.

Una de las interferencias en los métodos experimentales, fue la causada por los pigmentos naturales como los carotenos y xantofilas presentes en las cáscaras de guineo y de plátano, que coloreaban de pardo amarillo el agua al ser pasada por el filtro; dicha interferencia, se eliminó diluyendo la muestra de agua, hasta que no se detectó color.

9. RECOMENDACIONES

- Profundizar esta investigación con el fin de replicar los beneficios de esta Biorresina a nivel industrial.
- Realizar estudios posteriores sobre formas de extracción y reutilización del cromo hexavalente retenido en la Biorresina.
- Ampliar la caracterización de la Biorresina obtenida, que contemple las siguientes pruebas: materia orgánica, contenido de azufre y poder calorífico, capacidad de intercambio catiónico y la determinación de más elementos metálicos que podrían ser susceptibles a la acción de ella; eso, permitiría conocer la capacidad adsorbente de la Biorresina.
- Pulverizar y tamizar las cáscaras de plátano y guineo seco y tratados con medios mecánicos de ser posibles para lograr menor y un uniforme tamaño de partícula.
- Tanto la Biorresina de la cáscara del plátano como la del guineo pigmentan el agua de un color pardo amarillento. El color interferirá en las lecturas por espectroscopia visible. Por lo cual, se recomienda

someter la muestra de agua a un proceso de clarificación, posterior al filtrado, para evitar interferencias en las determinaciones analíticas.

- Se recomienda que las pruebas de solubilidad en agua y en solventes orgánicos se realicen con variaciones en la temperatura, con el fin de determinar con mayor especificidad las condiciones de operación óptima de la Biorresina.

10. GLOSARIO

Adsorción es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Es decir, es un proceso en el cual un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua por contacto con una superficie sólida (adsorbente). El proceso inverso a la adsorción se conoce como desorción.

Antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Bioacumulativo: Que se acumula y persiste en los tejidos y vísceras de los seres vivos que componen la cadena alimentaria.

Biodegradable es el producto o sustancia que puede descomponerse en los elementos químicos que lo conforman, debido a la acción de agentes biológicos, como plantas, animales, microorganismos y hongos, bajo condiciones ambientales naturales.

Dilución: es la reducción de la concentración de una sustancia química en una disolución. La dilución consiste en rebajar la cantidad de soluto por unidad de volumen de disolución. Se logra adicionando más diluyente a la misma cantidad de soluto: se toma una poca porción de una solución alícuota y después esta misma se introduce en más disolvente.

Filtración: proceso unitario de separación de sólidos en una suspensión por medio de un medio mecánico poroso. En una suspensión en un líquido mediante un medio poroso, retiene los sólidos mayores del tamaño de la porosidad y permite el paso del líquido y partículas de menor tamaño de la porosidad.

Filtrado: Líquido que ha pasado a través de un filtro.

Fisorción o adsorción física es un tipo especial de adsorción. En química se denomina adsorción al acúmulo o depósito de material (adsorbato) en un plano o superficie (a diferencia de la absorción que es un proceso volumétrico).

Intercambio iónico es un intercambio de iones entre dos electrolitos o entre una disolución de electrolitos y un complejo. En la mayoría de los casos se utiliza el término para referirse a procesos de purificación, separación, y descontaminación de disoluciones que contienen dichos iones, empleando para ello sólidos poliméricos o minerales dentro de dispositivos llamados intercambiadores de iones.

Lixiviación, o extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.

Partes por millón (ppm) es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia (agente, etc) que hay por cada millón de unidades del conjunto. En análisis químico las ppm se refieren a mg de analito por litro; mg/L.

pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones.

Potencial redox es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial redox mide la de los electrones.

Quelante, o secuestrante, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos, palabra que proviene de la palabra griega chele que significa "garra". Una de las aplicaciones de los quelantes es evitar la toxicidad de los metales pesados para los seres vivos.

Radiotoxicidad: la toxicidad potencial de un material radiactivo debida a su ingestión, inhalación o absorción.

Solución: mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Abud, Y. C et al

Evaluación de la toxicidad ocasionada por el exceso de micronutrientes en plantas de *Arabidopsis thaliana*. Biológicas

Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias. 14(1), 30-36.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, (2013).

[2] Alvarado Chávez, A. M y Gómez Díaz, D. E.

Estudio preliminar de la retención de plomo en agua a partir de cáscaras de *Musa sapientum* (banano) utilizadas como filtro.

Tesis para optar al grado de Licenciatura en Química y Farmacia.

Universidad de El Salvador. Pág. 23-58. (2013)

[3] Análisis de metales en agua potable y residual por espectrofotometría de adsorción atómica. Programa de Control de Calidad y Desarrollo de Laboratorios del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Organización Panamericana de la Salud. Pág 24-35. (1995)

[4] Caballero Alvarado, V.M.

Evaluación del uso de la cáscara del banano (*Musa AAA*) variedad Williams para la remoción de arsénico en el agua para consumo humano.

Tesis para optar al grado de Master (Magister Scientifiae) en Ingeniería Sanitaria.

Universidad de San Carlos de Guatemala. Pág 5 – 29 (2012)

[5] Cirelli, A. Y. P., & du Mortier, C.

Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Tecnologías solares para la desinfección y descontaminación del agua.

Solar Safe Water, 11-26. (2005).

[6] Icedo García, R.

Reducción de cloruros y dureza mediante intercambio iónico, en agua del pozo No .1Bis de Navojoa

Universidad de Sonora .México. (2011)

[7] Moreira Carrión, K.

Reutilización de residuo de la cáscara de banano (*musa paradisiaca*) y plátanos (*musa sapientum*) para la producción de alimentos destinados al consumo humano. (2013).

[8] Norma Salvadoreña CONACYT NSO 13.49.01:09: Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor.

Diario Oficial, Acuerdo N° 249.; pág. 50-53. (2009)

[9] Platt Sánchez, L. C.

Estudio de biosorción de metales pesados de un efluente de origen antropogénico utilizando *Escherichia coli*.

Universidad de Sonora, México (2001)

[10] Rodriguez Boniolo, M.

Biossorcao da uranio nas cascas de banana

Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en el área de Tecnología Nuclear.

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Pág 68 – 97. (2008)

[11] Yépez Guerrero, C. A.

Remoción de detergentes de aguas residuales textiles empleando hongos seleccionados obtenidos a partir de efluentes de industria textil y evaluación de su tolerancia a metales pesados a nivel de laboratorio.

Escuela Politécnica del Ejército. Guayaquil, Ecuador. (2011).

[12] Página web del CENTA

http://www.centa.gob.sv/index.php?option=com_k2&view=item&id=236:centa-platano&Itemid=153

Consultado: 30 de abril de 2015

[13] Página web del INCAR

<http://incar.blogia.com/2011/060901-procesos-de-adsorcion.php>

Consultado: 30 de abril de 2015

[14] Práctica de Laboratorio de Intercambio Iónico. Universidad Autónoma de Madrid.

https://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQUI/Intercambioionico2006.pdf

Consultado: 30 de abril de 2015

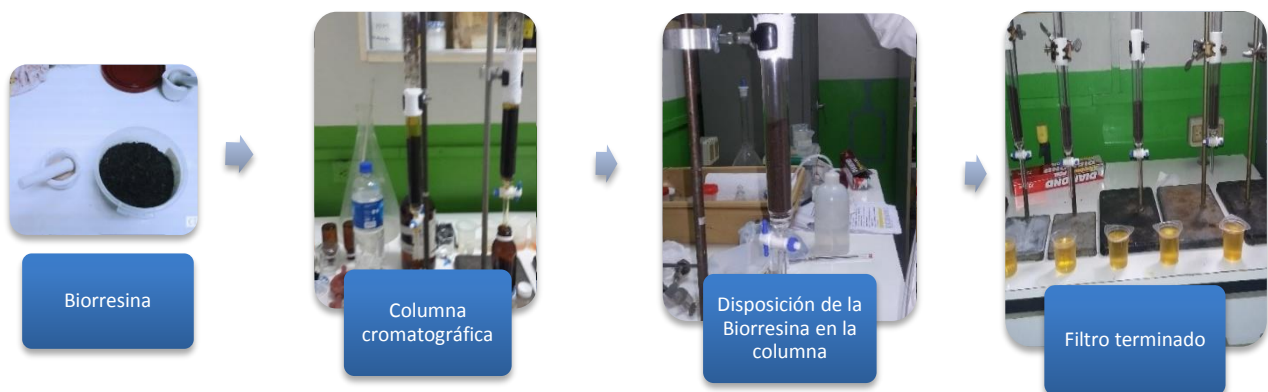
12.ANEXOS

12.1. ANEXO A. FOTOGRAFÍAS DE PARTE EXPERIMENTAL.

A1. RECOLECCIÓN, SECADO Y TRITURADO DE LAS CÁSCARAS DE GUINEO Y PLÁTANO



A2. ELABORACIÓN DE FILTRO CON LA BIORRESINA OBTENIDA DE CÁSCARAS DE PLÁTANO Y DE GUINEO.



A3. DETERMINACIÓN DE pH A LA BIORRESINA

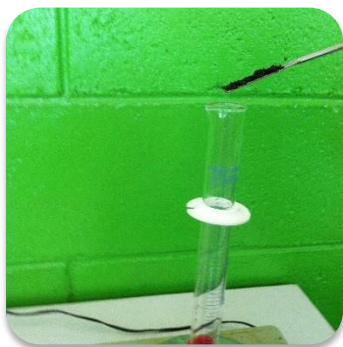


Mezcla de
Biorresina y
agua destilada



Registro del pH
con el pH -
metro

A4. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA BIORRESINA.



Agregar Biorresina a una probeta
(previamente pesada) hasta la
marca de 10 mL



Pesar en la balanza semianalitica
todo el conjunto. Hacer la
prueba por triplicado

A5. ELABORACIÓN DE MUESTRA DE AGUA CON METALES PESADOS (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Pb^{2+})



Pesado de sales
ionicas con los
metales pesados de
estudio



Dilución en agua
destilada



Solución terminada

A6. FILTRACIÓN DE LA MUESTRA DE AGUA CON METALES PESADOS (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}) HACIENDO USO DE LA BIORRESINA.



100 mL de muestra de
agua



Adición de la
muestra al filtro

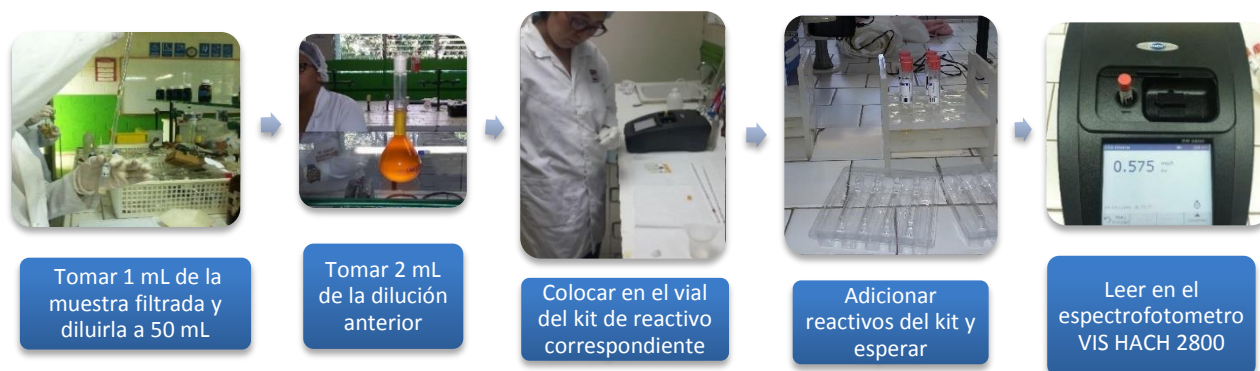


Cerrar la valvula de
la columna



Recoger el filtrado y
almacenarlo para las
pruebas

A7. DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Fe^{3+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}) EN LA MUESTRA DE AGUA FILTRADA.



Crédito de fotografías: Alba Martínez y Erick Quintanilla.

12.2. ANEXO B. CÁLCULOS.

B1. CÁLCULOS PARA PREPARAR LA SOLUCIÓN MADRE DE AGUA

- Cr^{+6} a partir de Cr_2O_3
- Fe^{+3} a partir de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Ni^{+2} a partir de $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Se requería que la muestra de agua tuviera una concentración de 20 ppm de todos los metales

Se tomó en cuenta el factor gravimétrico de cada compuestos, tal y como sigue:

$$0.020\text{g} \frac{\text{Peso molecular del compuesto}}{\text{Peso atomico del elemento}} = \text{cantidad a pesar}$$

- **CROMO +6**

$$0.020\text{g} \frac{PM \text{ Cr}_2\text{O}_3}{2 \times P. \text{atomico Cr}} = \text{cantidad a pesar}$$

$$0.020\text{g} \frac{151.9902}{2 \times 103.992} = 0.029\text{g}$$

- **HIERRO +3**

$$0.020\text{g} \frac{PM \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{P. \text{atomico Fe}} = \text{cantidad a pesar}$$

$$0.020\text{g} \frac{430.29}{55.84} = 0.15\text{g}$$

- **NIQUEL +2**

$$0.020\text{g} \frac{PM \text{ Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{P. \text{atomico Ni}} = \text{cantidad a pesar}$$

$$0.020\text{g} \frac{248.84}{58.69} = 0.085\text{g}$$

B2. CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE SECA.

Haciendo uso de la expresión:

$$\rho = m/v$$

Considerando que en todas las mediciones se realizaron para 10 mL, a ambas Biorresinas y que el resultado final tiene que expresarse en g / L. Se sustituyeron los valores correspondientes, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Biorresina	Masa (g)	Volumen (L)	Cálculo	Densidad aparente seca (g / L)
De cáscara de guineo	3.21	0.010	$\frac{3.21}{0.010}$	321.00
	3.68	0.010	$\frac{3.68}{0.010}$	368.00
	3.67	0.010	$\frac{3.67}{0.010}$	367.00
	PROMEDIO:			352.00
De cáscara de plátano	3.89	0.010	$\frac{3.89}{0.010}$	389.00
	3.21	0.010	$\frac{3.21}{0.010}$	321.00
	3.77	0.010	$\frac{3.77}{0.010}$	377.00
	PROMEDIO:			362.33

B3. CALCULO DE PORCENTAJES DE REMOCIÓN.

La concentración inicial de todos los metales era de 20 ppm. A continuación se explica el procedimiento utilizado para calcular el porcentaje de remoción que cada uno experimentó, después de que la muestra de agua que los contenía fue filtrada con la Biorresina.

Utilizando la expresión: $\%X = \frac{[M] \cdot 100\%}{20 \text{ ppm}}$

En donde:

%X: Porcentaje del metal presente en la muestra de agua.

[M]: Concentración del metal expresado en ppm, en la muestra de agua filtrada.

Posteriormente este resultado se sustituye en: $\%R = 100\% - \%X$

En donde %R representa el porcentaje de metal que fue retenido por la Biorresina.

Entonces para la determinar el porcentaje de remoción del catión Fe^{3+} en la prueba se tiene que los resultados son los siguientes:

Filtrado	Tiempo de contacto (minutos)	Cantidad de Biorresina (g)	[M]: Concentración de Fe^{3+} en el filtrado (ppm)	%X	%R
1	60	20.0	7.8726	39.36%	60.64%
2	90	20.0	5.5570	27.78%	72.22%
3	60	30.0	7.6784	38.39%	61.61%
4	90	30.0	5.6893	28.45%	71.55%

De la misma forma para el Cr^{6+} :

Filtrado	Tiempo de contacto (minutos)	Cantidad de Biorresina (g)	[M]: Concentración de Cr^{6+} en el filtrado (ppm)	%X	%R
1	60	20.0	5.1250	25.62%	74.38%
2	90	20.0	2.4750	12.37%	87.63%
3	60	30.0	4.0750	20.38%	79.62%
4	90	30.0	3.5250	17.66%	82.34%

Y el Ni^{2+} :

Filtrado	Tiempo de contacto (minutos)	Cantidad de Biorresina (g)	[M]: Concentración de Ni^{2+} en el filtrado (ppm)	%X	%R
1	60	20.0	16.1625	80.81%	19.19%
2	90	20.0	14.6000	73.00%	27.00%
3	60	30.0	18.5750	92.87%	7.13%
4	90	30.0	15.9750	79.87%	20.13%

De la misma forma se procedió para calcular todos los porcentajes de remoción en las demás pruebas.



VISIÓN

Ser una institución educativa líder en educación tecnológica a nivel nacional y regional, comprometida con la calidad, la empresarialidad y la pertinencia de nuestra oferta educativa.

MISIÓN

Formar profesionales integrales y competentes en áreas tecnológicas que tengan demanda y oportunidad en el mercado local, regional y mundial, tanto como trabajadores y como empresarios.

VALORES

EXCELENCIA: *Nuestro diario quehacer está fundamentado en hacer bien las cosas desde la primera vez.*

INTEGRIDAD: *Actuamos congruentemente con los principios de la verdad en todas las acciones que realizamos.*

ESPIRITUALIDAD: *Desarrollamos todas nuestras actividades en la filosofía de servicio, alegría, compromiso, confianza y respeto mutuo.*

COOPERACIÓN: *Actuamos basados en el buen trabajo en equipo, la buena disposición a ayudar a todas las personas.*

COMUNICACIÓN: *Respetamos las diferentes ideologías y opiniones, manteniendo y propiciando un acercamiento con todo el personal.*

SEDES ITCA - FEPADE EL SALVADOR

La Escuela Especializada en Ingeniería ITCA - FEPADE, fundada en 1969, es una institución estatal con administración privada, conformada actualmente por 5 campus: Sede Central Santa Tecla y cuatro centros regionales ubicados en Santa Ana, San Miguel, Zacatecoluca y La Unión.



SEDE CENTRAL SANTA TECLA

Km. 11.5 Carretera a Santa Tecla, La Libertad.
Tel. (503) 2132-7400
Fax. (503) 2132-7599



CENTRO REGIONAL SANTA ANA

Final 10a. Av. Sur,
Finca Procavia
Tels. (503) 2440-4348
y (503) 2440-2007
Tel./Fax. (503) 2440-3183



CENTRO REGIONAL MEGATEC ZACATECOLUCA

Km. 64 1/2, desvío Hacienda El Nilo, sobre autopista a Zacatecoluca y Usulután.
Tels. (503) 2334-0763
y (503) 2334-0768



CENTRO REGIONAL SAN MIGUEL

Km. 140, Carretera a Santa Rosa de Lima.
Tels. (503) 2669-2292
y (503) 2669-2298
Fax. (503) 2669-0061



CENTRO REGIONAL MEGATEC LA UNIÓN

Calle Santa María, Col. Belén,
atrás del Instituto Nacional
de La Unión.
Tel. (503) 2668-4700

www.itca.edu.sv

Escuela Especializada
en Ingeniería

ITCA  **FEPADE**